

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-233559  
 (43)Date of publication of application : 02.09.1998

(51)Int.Cl. H01S 3/18  
 H04B 10/28  
 H04B 10/02

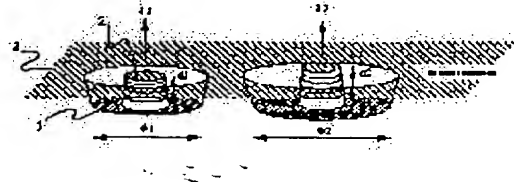
(21)Application number : 09-052358 (71)Applicant : CANON INC  
 (22)Date of filing : 20.02.1997 (72)Inventor : ONOUCHI TOSHIHIKO

(54) SEMICONDUCTOR LASER DEVICE AND ITS MANUFACTURE AS WELL AS OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make threshold of a plurality of lasers uniform by a method wherein a part of the light-emitting region of a vertical resonator-type surface emitting laser is formed, by a selective growth, in an opening in a selection mask such as a dielectric or the like which has a closed shape.

SOLUTION: A part of the light-emitting region 2 of every vertical resonator-type surface emitting laser is manufactured by a selective growth which uses a selection mask 1. At this point, the area of the selection mask 1 is changed, the thickness or the composition of a crystal which is grown in an opening in the mask is changed, and a plurality of vertical resonator-type surface emitting lasers are formed on the same substrate. In this manner, when the light-emitting region 2 of every surface emitting laser is formed, by the selective growth, in the opening in the selection mask 1 composed of a dielectric or the like, the area of the mask is changed, a growth speed or the like is changed, and a multiple-wavelength surface emitting laser array in which a resonator length or the like is different can be manufactured.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]  
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]  
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
 [Date of final disposal for application]  
 [Patent number]  
 [Date of registration]  
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
 [Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-233559

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 4 B 10/28

H 0 4 B 9/00

W

10/02

審査請求 未請求 請求項の数22 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号

特願平9-52358

(22) 出願日

平成9年(1997) 2月20日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 尾内 敏彦

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

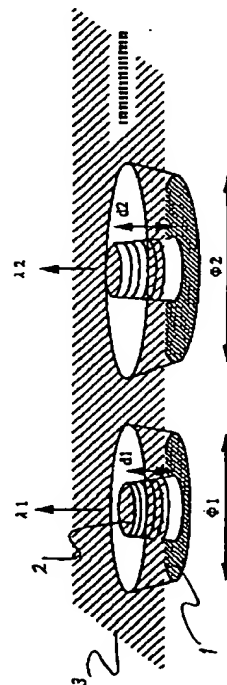
(74) 代理人 弁理士 加藤 一男

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ装置、その作製方法およびそれをを用いた光通信方式

(57) 【要約】

【課題】 選択マスクを利用する選択成長で形成された単一或は複数の垂直共振器型面発光レーザを含む半導体レーザ装置及びその作製方法である。

【解決手段】 少なくとも1つの垂直共振器型面発光レーザを有する半導体レーザ装置である。垂直共振器型面発光レーザの発光領域2の少なくとも一部が、閉じた形状を持つ選択マスク1の開口部に選択成長によって形成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも1つの垂直共振器型面発光レーザを有する半導体レーザ装置において、垂直共振器型面発光レーザの発光領域の少なくとも一部が閉じた形状を持つ選択マスクの開口部に選択成長によって形成されていることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項2】 複数の垂直共振器型面発光レーザを有し、各垂直共振器型面発光レーザの発光領域の少なくとも一部が、マスク面積の異なる選択マスクの開口部に選択成長によって形成されることで、結晶の厚さまたは組成を変化させて構成され、同一基板上に発振波長の異なる複数の垂直共振器型面発光レーザが形成されていることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ装置。

【請求項3】 前記選択マスクの開口部の形状、大きさは一定で外枠の形状、大きさを変えることで、レーザの断面形状は同じで、共振器の長さが異なる垂直共振器型面発光レーザが同一基板上に複数形成されていることを特徴とする請求項2記載の半導体レーザ装置。

【請求項4】 前記選択マスクの開口部および外枠の形状は円形であることを特徴とする請求項1、2または3記載の半導体レーザ装置。

【請求項5】 前記選択マスクの開口部および外枠の形状は〈011〉結晶方位と45°をなす辺で囲まれた長方形或は正方形であって、垂直共振器型面発光レーザが(100)基板上に選択成長されて成ることを特徴とする請求項1、2または3記載の半導体レーザ装置。

【請求項6】 多層膜ミラーおよび活性層を含む層が平坦に成長され、少なくとも、発振波長に対して光の吸収が少なく共振器を構成する為のスペーサ層が選択マスクの開口部に選択成長によって形成されていることを特徴とする請求項1乃至5の何れかに記載の半導体レーザ装置。

【請求項7】 前記選択成長で前記スペーサ層と上部多層膜ミラーが連続して形成されていることを特徴とする請求項6記載の半導体レーザ装置。

【請求項8】 多層膜ミラーを含む層が平坦に成長され、活性層および前記スペーサ層が選択マスクの開口部に選択成長によって形成されていることを特徴とする請求項1乃至5の何れかに記載の半導体レーザ装置。

【請求項9】 基板上の選択マスクの開口部に、多層膜ミラーおよび活性層を含む層が選択成長によって形成されていることを特徴とする請求項1乃至5の何れかに記載の半導体レーザ装置。

【請求項10】 上部多層膜ミラーは誘電体ミラーであることを特徴とする請求項9記載の半導体レーザ装置。

【請求項11】 少なくとも1つの垂直共振器型面発光レーザを有する半導体レーザ装置の作製方法において、垂直共振器型面発光レーザの発光領域の少なくとも一部を閉じた形状を持つ選択マスクの開口部に選択成長によって作製することを特徴とする半導体レーザ装置の作製

方法。

【請求項12】 複数の垂直共振器型面発光レーザを有する半導体レーザ装置の作製方法であって、各垂直共振器型面発光レーザの発光領域の少なくとも一部を選択マスクを用いた選択成長によって作製する際に、該選択マスクの面積を変えてマスク開口部に成長する結晶の厚さまたは組成を変化させることで、同一基板上に発振波長の異なる複数の垂直共振器型面発光レーザを形成することを特徴とする請求項11記載の半導体レーザ装置の作製方法。

【請求項13】 前記選択マスクの開口部の形状、大きさは一定で外枠の形状、大きさを変えることで、レーザの断面形状は同じで、共振器の長さが異なる垂直共振器型面発光レーザを同一基板上に複数形成することを特徴とする請求項12記載の半導体レーザ装置の作製方法。

【請求項14】 前記選択マスクの開口部および外枠の形状は円形であることを特徴とする請求項11、12または13記載の半導体レーザ装置の作製方法。

【請求項15】 前記選択マスクの開口部および外枠の形状は〈011〉結晶方位と45°をなす辺で囲まれた長方形或は正方形であって、垂直共振器型面発光レーザを(100)基板上に選択成長することを特徴とする請求項11、12または13記載の半導体レーザ装置の作製方法。

【請求項16】 第1の結晶成長で多層膜ミラーおよび活性層を含む層を平坦に成長し、前記選択マスクを形成した後に、第2の結晶成長として、少なくとも、発振波長に対して光の吸収が少なく共振器を構成する為のスペーサ層を選択成長によって形成することを特徴とする請求項11乃至15の何れかに記載の半導体レーザ装置の作製方法。

【請求項17】 前記選択成長で前記スペーサ層と上部多層膜ミラーを連続して形成することを特徴とする請求項16記載の半導体レーザ装置の作製方法。

【請求項18】 第1の結晶成長で多層膜ミラーを含む層を平坦に成長し、前記選択マスクを形成した後に、第2の結晶成長として、活性層および前記スペーサ層を選択成長によって形成することを特徴とする請求項11乃至15の何れかに記載の半導体レーザ装置の作製方法。

【請求項19】 基板上に前記選択マスクを形成し、1回の結晶成長で多層膜ミラーおよび活性層を含む層を選択成長によって形成することを特徴とする請求項11乃至15の何れかに記載の半導体レーザ装置の作製方法。

【請求項20】 上部多層膜ミラーを誘電体ミラーで形成することを特徴とする請求項19記載の半導体レーザ装置の作製方法。

【請求項21】 請求項1乃至10の何れかに記載の半導体レーザ装置を送信側に用い、強度変調された光出力信号を受信側に送ることを特徴とする光通信方式。

【請求項22】 前記半導体レーザ装置の発振波長の異

なる垂直共振器型面発光レーザのアレイからの強度変動された光出力信号を合波器で一本の光ファイバにまとめて伝送し、受信側で波長可変光フィルタで所望の波長の光に乗せられた信号を受信することで波長多重光インターコネクトを行なうことを特徴とする請求項21記載の光通信方式。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、大容量の光通信や光インターコネクト等に用いられる多波長面発光レーザアレーなどの半導体レーザ装置、その作製方法等に関する。

【0002】

【従来の技術】活性領域を小さくできて基板に対して垂直方向に光を出力することから発振しきい値が低い、消費電力が小さい、ファイバとの光結合が容易である、2次元アレー化が容易であるなどの利点を持つことから、垂直共振器型の面発光半導体レーザ (Vertical Cavity Surface Emitting Laser: VCSEL) の開発が、近年、活発に行なわれている。

【0003】2次元アレー化した場合に、発振波長が異なるVCSELが並んだ多波長VCSELアレーは、波長多重光システムの光源としての適用が期待されている。VCSELは、発振モードが共振器長で決まるファブリペロ共振モードに支配されており、共振モードのうち最も活性層の利得ピークに近い波長で発振する。通常、VCSELの共振器長は数 $\mu\text{m}$ であり、波長1 $\mu\text{m}$ 帯では、その共振器長を1%変化させると発振波長はおよそ10nm変化する。従って、共振器長すなわち成長層厚をわずかに変えたVCSELを複数並べれば、多波長レーザアレーを作製することができる。

【0004】成長層厚を変えて多波長アレー化する方法は幾つか提案されている。例えば、MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法では、基板温度により成長速度、化合物半導体組成が変化することを利用して、基板面内で温度分布をつけることで同一基板上で発振波長の異なる複数のVCSELをアレー化できる (W. Yuen, G. S. Li, K. I. Ioakimidis and C. J. Chang-Hasnain, Electron. Lett. 31, p. 1840 (1995) 参照)。温度分布をつけるには、基板を貼りつけるサセプター表面にパターン化した溝を切っておき、基板の裏面がサセプターに接触する領域と接触しない領域で温度差がつくことを利用する。

【0005】また、MOCVD (Metal Organized Chemical Vapor Deposition) 法では、図7のように異なる直径 (D1、D2、D3、D4) の円形の台を基板700に形成

しておいて、その上に成長を行なう。その際、成長速度、組成に円形台の直径依存性があることを利用して、共振器長の異なる複数のVCSELを並べることができるため、発振波長が $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ となる多波長アレーとなる (F. Koyama, T. Mukaiharu, N. Ohnoki, N. Hatori and K. Iga, IEEE Photonic Technol. Lett. 7, p. 68 (1995) 参照)。

【0006】

【発明が解決しようとしている課題】しかし、基板温度に分布をつける方法では、温度分布の勾配を高くできないため、微小領域で発振波長を大きく変えたレーザをアレー化することは難しい。また、条件の最適化に時間とコストがかかること、再現性を得ることが難しいことなどの問題がある。

【0007】一方、基板を加工する方法では、成長前に基板エッチングをする工程があり、成長後に再び発光領域を円筒状にエッチングする工程があるために、プロセスが複雑になって歩留まりの向上が難しい。

【0008】このような課題に鑑み、本出願の発明の諸目的を各請求項に対応して以下に述べる。第1の目的は、閉じた形状を持つ選択マスクを利用する選択成長の利点を用いて形成された単一或は複数の垂直共振器型面発光レーザを含む半導体レーザ装置及びその作製方法を提供することである (請求項1、11の発明に対応)。

【0009】第2の目的は、閉じた形状を持つ選択マスクを利用する選択成長の利点を用いて同一基板上に成長層厚の異なる領域が一括成長で形成された構成を有する多波長面発光レーザアレーなどの半導体レーザ装置及びその作製方法を提供することである (請求項2、12の発明に対応)。

【0010】第3の目的は、しきい値、発光強度、ビーム径などを均一にする構成を有する多波長面発光レーザアレーなどの半導体レーザ装置及びその作製方法を提供することである (請求項3、13の発明に対応)。

【0011】第4の目的は、発光ビームを等方的な円形にする構成を有する多波長面発光レーザアレーなどの半導体レーザ装置及びその作製方法を提供することである (請求項4、14の発明に対応)。

【0012】第5の目的は、選択成長時に断面形状を変えることなく形成するために、選択成長マスクの面方位を規定して作製される構成を有する多波長面発光レーザアレーなどの半導体レーザ装置及びその作製方法を提供することである (請求項5、15の発明に対応)。

【0013】第6の目的は、容易な選択成長方法で生産性良く形成できる構成を有する多波長面発光レーザアレーなどの半導体レーザ装置及びその作製方法を提供することである (請求項6、7、16、17の発明に対応)。

【0014】第7の目的は、活性層の利得ピーク波長とレーザの発振波長を近づけて、発光効率、しきい値などを均一にする構成を有する多波長面発光レーザアレーなどの半導体レーザ装置及びその作製方法を提供することである（請求項8、18の発明に対応）。

【0015】第8の目的は、一回の成長で少なくとも下ミラーおよび活性層を形成できる生産性のよい構成を有する多波長面発光レーザなどの半導体レーザ装置及びその作製方法を提供することである（請求項9、10、19、20の発明に対応）。

【0016】第9の目的は、多波長面発光レーザアレー等の本発明の半導体レーザ装置を用いて低コストな波長多重光通信方式、インターコネクトなどの光通信方式を提供することである（請求項21、22の発明に対応）。

【0017】

【課題を解決するための手段】先ず、本発明の原理的考え方を事例に沿って述べる。本発明は、 $\text{SiO}_2$ などの誘電体マスク等を、例えば、図2のように閉じた形状のドーナツ状に形成すると、MOCVD法、CBE法（Chemical Beam Epitaxy）などで成長した場合に、ドーナツ形状の幅（肉厚）によって、中心の開口部に成長する結晶の成長速度、組成が変化することを利用する。これは、成長しないマスク領域が広いと照射分子（原子）が移動（マイグレーション）して、成長できる開口部の基板領域に到達する分子が多くなる現象があるために起こる。また、マイグレーションできる長さは分子によって異なるため、成長させる結晶の組成が変化する場合もある。

【0018】そこで、例えば、多波長面発光レーザアレーを形成する場合には、中心部の径は例えば $10\mu\text{m}\Phi$ と一定にしておいて、ドーナツマスクの肉厚を $5\sim 50\mu\text{m}$ （すなわちマスク外径 $20\mu\text{m}\Phi\sim 110\mu\text{m}\Phi$ 、内径 $10\mu\text{m}\Phi$ 一定）と変化させて選択成長させると、図1のようにマスクの外径 $\Phi_i$ に応じて成長膜厚 $d_i$ などが変化する。成長層は、上下の多層膜ミラー、活性層、スペーサ層（活性層とスペーサ層の順序は問わない）をすべて成長させてもよいし、活性層まではフラットに成長させておいて、スペーサ層のみを選択成長させてもよい（共振器長を変えればよいので種々の態様がある）。後者の場合、上部ミラーは、半導体多層膜ミラーをそのまま成長させてもよいし、誘電体ミラーを後で形成してもよい。上記のマスク設定で、成長膜厚を約5%変化させることができる。すなわち、外径 $20\mu\text{m}\Phi$ のマスクによる円柱に対し、外径 $110\mu\text{m}\Phi$ のマスクの円柱の方が約5%高くできた。この成長膜厚の変化によって共振器長を変えることができるため、発振波長 $\lambda_i$ の異なる複数のVCSELをアレー化できる。

【0019】活性層厚、スペーサ層厚、ミラーへの侵入深さなどから成るVCSELの共振器長が標準で $2\mu\text{m}$

とすると、従来技術のところで述べたように共振器長が5%すなわち $0.1\mu\text{m}$ 変わるとき、 $50\text{nm}$ 程度発振波長を変えられることになる。

【0020】多層膜ミラーの各層の厚さは5%程度変化しても反射の波長バンド幅が広いために反射率の変化はない。また、複数の多重量子井戸の活性層を同時に選択成長する場合には、成長速度が速いと、井戸層が厚くすなわちバンドギャップ波長は長くなるとともに、共振器長が長くなるので共振波長が長波長化する。そのため、活性層の利得ピーク波長と共振波長のシフトの方向が一致して、複数のレーザのしきい値を均一化できる可能性がある。

【0021】上記目的を達成するための手段、作用をまとめると以下になる（例えば、1）は第1の目的に対応する）。

1）少なくとも1つの垂直共振器型面発光レーザを有する本発明の半導体レーザ装置は、垂直共振器型面発光レーザの発光領域の少なくとも一部が、閉じた形状を持つ誘電体などの選択マスク（リング状等）の開口部に選択成長によって形成されていることを特徴とする。この作製方法は、垂直共振器型面発光レーザの発光領域の少なくとも一部を、閉じた形状を持つ選択マスクの開口部に選択成長によって作製することを特徴とする。選択マスクの形状、肉厚などの設定で、面発光レーザの断面形状、成長膜厚、発振波長などを柔軟に設計できる。

【0022】2）半導体レーザ装置は、複数の垂直共振器型面発光レーザを有し、各垂直共振器型面発光レーザの発光領域の少なくとも一部が、マスク面積の異なる選択マスクの開口部に選択成長によって形成されることで、結晶の厚さまたは組成を変化させて構成され、同一基板上に発振波長の異なる複数の垂直共振器型面発光レーザが形成されていることを特徴とする。この作製方法は、各垂直共振器型面発光レーザの発光領域の少なくとも一部を選択マスクを用いた選択成長によって作製する際に、該選択マスクの面積を変えてマスク開口部に成長する結晶の厚さまたは組成を変化させることで、同一基板上に発振波長の異なる複数の垂直共振器型面発光レーザを形成することを特徴とする。面発光レーザの発光領域を誘電体などからなる選択マスクの開口部に選択成長により形成すれば、マスク面積を変えることで成長速度等が変わるので、所望の成長膜厚等になるようにマスクパターンを形成しておけば、簡単に共振器長等が異なる多波長面発光レーザアレーを作製できる。

【0023】3）半導体レーザ装置及びこの作製方法は、前記選択マスクの開口部の形状、大きさは一定で外枠の形状、大きさを変えることで、レーザの断面形状は同じで、共振器の長さが異なる垂直共振器型面発光レーザが同一基板上に複数形成されていることを特徴とする。上記選択マスクの開口部の形状等は一定で、外枠の形状等を変えればマスク面積を変えて選択成長膜厚を変

化させられるので、発光領域の断面形状は同じで、すなわちしきい値、発光強度等は大きく変化させないで、発振波長の異なる面発光レーザアレーを作製できる。

【0024】4) 半導体レーザ装置及びこの作製方法は、前記選択マスクの開口部および外枠の形状は円形であることを特徴とする。上記選択マスクの開口部形状および外形を円形にすれば等方的な円形ビームをもつ面発光レーザを作製できる。

【0025】5) 半導体レーザ装置及びこの作製方法は、前記選択マスクの開口部および外枠の形状は〈011〉結晶方位（これと等価な結晶方位も含む）と $45^\circ$ をなす辺で囲まれた長方形或は正方形であって、垂直共振器型面発光レーザを（100）基板上（これと等価な面も含む）に選択成長することを特徴とする。上記選択マスクの開口部形状および外形を〈011〉結晶方位と $45^\circ$ をなす辺で囲まれた長方形あるいは正方形にすれば、選択成長での側壁成長を抑えることができるため断面形状をほぼ一定に保持できて、レーザの性能及び構造の制御性が向上する。

【0026】6) 半導体レーザ装置は、多層膜ミラーおよび活性層を含む層が平坦に成長され、少なくとも、発振波長に対して光の吸収が少なく共振器を構成する為のスペーサ層が選択マスクの開口部に選択成長によって形成されていることを特徴とする。この作製方法は、第1の結晶成長で多層膜ミラーおよび活性層を含む層を平坦に成長し、前記選択マスクを形成した後に、第2の結晶成長として、少なくとも、発振波長に対して光の吸収が少なく共振器を構成する為のスペーサ層を選択成長によって形成することを特徴とする。ここにおいて、前記選択成長で前記スペーサ層と上部多層膜ミラーが連続して形成されてもよい。活性層を平坦に成長しておいて、選択成長ではパッシブ領域のみを成長することで歩留まりを良くすることができる。

【0027】7) 半導体レーザ装置は、多層膜ミラーを含む層が平坦に成長され、活性層および前記スペーサ層が選択マスクの開口部に選択成長によって形成されていることを特徴とする。この作製方法は、第1の結晶成長で多層膜ミラーを含む層を平坦に成長し、前記選択マスクを形成した後に、第2の結晶成長として、活性層および前記スペーサ層を選択成長によって形成することを特徴とする。ここで、例えば、多重量子井戸の活性層も選択成長で形成すれば、成長膜厚が厚く発振波長が長い領域で、井戸層も厚く利得ピーク波長が長波長にシフトするため、発光効率、しきい値等のばらつきを抑えることができる。

【0028】8) 半導体レーザ装置は、基板上の選択マスクの開口部に、多層膜ミラーおよび活性層を含む層が選択成長によって形成されていることを特徴とする。この作製方法は、基板上に前記選択マスクを形成し、1回の結晶成長で多層膜ミラーおよび活性層を含む層を選

択成長によって形成することを特徴とする。ここで、上部多層膜ミラーは誘電体ミラーで形成してもよい。例えば、5)の方法では、上下のDBRミラーおよび活性層をすべて一回成長で行なっても断面形状が変化せず、簡単な工程で面発光レーザを作製できるため生産性が向上する。

【0029】9) 光通信方式は、上記の半導体レーザ装置を送信側に用い、強度変調された光出力信号を受信側に送ることを特徴とする。更に、前記半導体レーザ装置の発振波長の異なる垂直共振器型面発光レーザのアレイからの強度変調された光出力信号を合波器で一本の光ファイバにまとめて伝送し、受信側で波長可変光フィルタで所望の波長の光に乗せられた信号を受信することで波長多重光インターコネクト等を行なうこともできる。多波長面発光レーザアレーの各々を変調してそれらの光を合波器で一本の光ファイバにまとめて伝送し、受信側では波長可変光フィルタで所望の波長の光を分波し1つの受光器で検波することで、低コストな波長多重光インターコネクトを実現できる。

【0030】

【発明の実施の形態】

〔実施例1〕本発明による第1の実施例の多波長VCSELアレーは、活性層部分までを平坦に成長しておき、最終成長層の表面に図2に示すようなドーナツ状のマスクパターン1を形成して、その後にスペーサ層、分布反射(DBR)ミラーを選択成長することで作製される。その断面図を図3に示す。図3は1つのVCSELの構成を示す。図3において、VCSELの両側の積層構造は作製上付随的に作成されるものである(図1のVCSEL発光領域2の回りにできた結晶表面3を参照)。

【0031】本実施例の成長法を述べる。図3に示す様に、 $n$ -GaAs基板301上に、各層が $\lambda/4$ 厚の $n$ -AlAs/GaAs 20.5ペア(最終層AlAs)から成るDBRミラー302、AlGaAs(厚さ100nm)の下部光閉じ込め層303、アンドープの $In_{0.2}Ga_{0.8}As$ 井戸層(厚さ8nm)/GaAs障壁層(厚さ10nm)5ペアから成る歪み多重量子井戸活性層304、AlGaAs(厚さ100nm)の上部光閉じ込め層303、 $p$ -GaAs保護層(厚さ10nm)305がCBE法によって成長される。

【0032】ここで、成長を中断して、 $SiO_2$ からなる図2のような複数の選択成長マスク1を形成する。すなわち、内径 $10\mu m$ Φ、外径 $20\mu m$ Φ $\sim 110\mu m$ Φと変化した複数の選択成長マスク1を形成する。外径の大きさは図2では4種類が1列に並んでいるが、いろいろな径のものを2次元的に並べてもよい。

【0033】次に、再びCBE法によって、 $p$ -Al $_{0.4}$ Ga $_{0.6}$ As(厚さ1.5 $\mu m$ 。平坦部の成長膜厚である)のスペーサ層306、 $p$ -AlAs/GaAs 20ペア(最終層GaAs)から成るDBRミラー307

を成長する。図3でも分かるとおり、選択成長した場合には側面成長もわずかにあるため、側面も多層構造になる。ここでは、側面成長を低減する条件で成長した。すなわち、III族元素(In, Ga)の側面へのマイグレーションを低減するために、基板温度を低め(510℃)に設定し、V/III比を低く2~8とした。

【0034】ここで、SiO<sub>2</sub>マスク1のドーナツの肉厚が大きいほど中心部の発光領域での成長速度が速くスペーサ層306の膜厚が厚くなるため、これに応じて共振器長の異なるVCSELアレーが作製できる。膜厚の実測は難しいため、実際の発振波長で多波長化について評価した。

【0035】上記の成長後、ポリイミド等で凹部を埋め込み(310)、発光領域以外の部分に絶縁膜309を形成する。そして、電極311、312を形成すれば簡単にVCSELアレーが構成できる。電極311は各VCSEL間で分離されており、電極312側には光取り出し用の窓部313が形成されている。

【0036】複数のVCSELは、しきい値10mA前後で発振し、発振波長はおおよそ980nmから1030nmの範囲で50nmの発振波長幅が得られた。図2のような選択マスク1で4個のVCSELをアレーとして直線状に並べた場合、発振波長は外径の小さい方から、980nm、1000nm、1017nm、1030nmの4波VCSELアレーができた。ただし、これら発振波長やしきい値に関しては、ウェハ内あるいは作製ロット毎において、ばらつきがあり、結果は代表例である。選択マスク1の外径の種類を増やせば、さらに多くの発振波長のVCSELのアレー化が可能である。

【0037】[実施例2] 実施例1では、活性層は選択成長前に形成しておき、スペーサ層より上のみを選択成長するため、活性層の利得ピーク波長は一定であり、共振モードで決まる発振波長だけが変わるようになっている。従って、発振波長によっては利得が小さいために、発振しきい値の上昇、外部微分効率の低下を招き、アレー化したときの発光強度のばらつきが比較的大きくなる可能性がある。

【0038】そこで、本発明の第2の実施例では、活性層も選択成長することで、成長速度の変化による共振波長の変化方向と量子井戸の厚さが変わることに伴う利得ピーク波長の変化方向が一致するようにするものである。マスク外径が大きいと、既に述べたように成長膜厚が厚くなって共振器長が長くなるために発振波長が長波長にシフトするが、同時に量子井戸も厚くなるためにエネルギーバンドギャップが小さくなり利得ピーク波長は長くなる。本実施例はこのことを利用する。このとき結晶組成はあまり変化しなかった。

【0039】実施例1において量子井戸は厚さ8nmのIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Asで構成されている。この厚さが5%変化しても利得ピーク波長は10nm前後しか変化しな

いが、発振波長シフトの方向と一致するため多波長化する場合に有利に働く。

【0040】図4は本実施例によるVCSELの断面図である。層構成は実施例1とほぼ同じであるが、連続成長しているためGaAs保護層305はなく上側の多層膜ミラーは誘電体ミラー402とした。誘電体ミラー402は導電性がないので、p-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As(厚さ1.5μm)スペーサ層306の上に、p-GaAsコンタクト層401をリング状に形成して電極との電気的導通をとった。上側のDBRミラーを誘電体ミラー402にしたのは、選択成長により成長する層が高くなると異常成長して円柱形状が崩れ易くなるためである。これは、選択成長する場合に側面の成長速度に面方位依存性があるためで、マスクが円形であっても実際には断面は精円と直線で表されるような複雑な形状となる。成長層が厚くなるとこれが強調されてしまうので、選択成長の厚さはなるべく薄い方がよい。

【0041】そこで、円柱形状を保つために下部のDBRミラー302は平坦に成長し、活性層304とスペーサ層306のみを選択成長する作製方法ももちろん可能である。

【0042】以上のように作製した多波長VCSELアレーは、しきい値5mA程度で発振し、発振波長毎の光強度のばらつきも小さくできた。

【0043】[実施例3] 本発明による実施例3は、選択成長しても断面形状が大きく変化しなく、上下DBRミラーおよび活性層をすべて一回の成長で行なうものである。側面成長は、(01-1)面はほとんどなく垂直に成長するが、(011)面は逆メサ形状になってしまう。一方、〈011〉方位に対して45°の方向の面を持つような長方形あるいは正方形の柱状に選択成長を行なうと、どの面も基板に対して垂直に近い形状となり、厚く選択成長を行なっても断面形状が保持される。

【0044】そこで、図5のように一辺が8μmの正方形の柱状の発光領域を持つ面発光レーザを作製した。選択マスク1は実施例1や実施例2などと同じように、マスク面積を徐々に変えるように設計して、共振器長および量子井戸厚を変えることで多波長アレー化する。選択マスク1の外形となる正方形の一辺を18μm~108μmと変化させた。層構成は実施例1とほぼ同じであるが、一括成長のためにGaAs保護層は成長していない。

【0045】本実施例では、面発光レーザアレーとしてのしきい値や波長の特徴は実施例2とほぼ同じだが、結晶成長が一回であり誘電体ミラーを作製する必要がないなど作製工程が大幅に簡略化されるために、歩留まり、生産性が向上する。

【0046】以上の実施例では、VCSELの発光領域の径は一定としたが、さらに波長範囲を拡大するために、VCSELの発光領域の径そのものを変化させても

よい。ただし、その場合は、しきい値や光出力、ビーム径などにばらつきがでる。

【0047】また、 $1.0\mu\text{m}$ 帯の例( $\text{InGaAs}/\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ )を示したが、異なる波長帯に対応するため他の結晶系、たとえば $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ 、 $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ や $\text{AlGaN}/\text{InGaN}/\text{GaN}$ などにも本発明の考え方は同様に適用できる。更に、単一のVCSELにも本発明は適用できる。

【0048】〔実施例4〕本実施例は、図6に示すように本発明による多波長VCSELアレーを光インターコネクションに適用したものである。 $3\times 3$ で9波長からなるVCSELアレー601を9本の光ファイバに結合させ、合波器603によって一本の光ファイバ606で伝送させる。ファイバはマルチモードファイバで、VCSELアレーのGaAs基板側に設けたガイド穴(上記実施例の窓部313に相当する)に差し込むだけで結合効率が80%程度得られる。波長は $980\text{nm}\sim 1030\text{nm}$ の範囲で、約 $6\text{nm}$ 間隔で9波長が並ぶようになっている。各レーザを強度変調して信号を伝送した。

【0049】受信側では、可変波長フィルタとして透過半値幅 $2\text{nm}$ のファイバファブリペロエタロン604を用い、1つの $\text{InGaAs}$ のpin型ホトダイオード605で受光する。また、時分割でフィルタの透過波長を動かして各波長の信号を受信する。光伝送用のファイバの態様及び信号受信の方法については、図示のものに限るものではない。

【0050】図6の様に構成すると、従来、光ファイバを信号源の数だけ束ねたインタコネクションモジュール等が必要であるが、本実施例によりファイバおよび光検出器の数を大幅に減少することができ、低コスト化につながる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は多波長VCSELアレーの選択成長による作製を説明するための透視図である。

【図2】図2は選択成長用マスクの形状の例を示す平面図である。

【図3】図3は本発明による第1実施例の面発光レーザの断面図である。

【図4】図4は本発明による第2実施例の面発光レーザの断面図である。

【図5】図5は本発明による第3実施例の面発光レーザの形状を示す斜視図である。

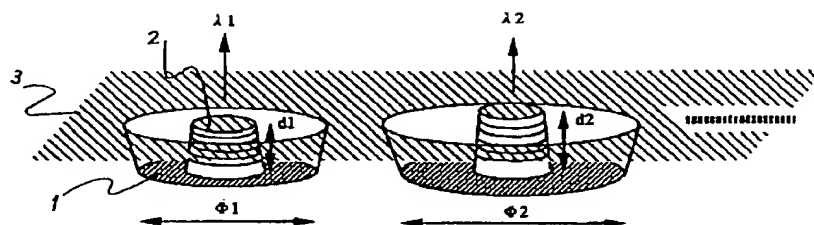
【図6】図6は本発明による多波長VCSELを光インタコネクションとして適用する例を示す図である。

【図7】図7は多波長VCSELアレーの従来例を示す図である。

#### 【符号の説明】

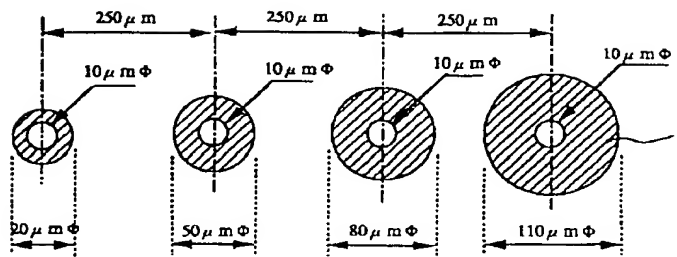
- 1 選択成長マスク
- 2 選択成長したVCSEL発光領域
- 3 選択成長した結晶表面
- 301 基板
- 302、307 半導体多層膜ミラー
- 303 光閉じ込め層
- 304 活性層
- 305 保護層
- 306 スペース層
- 309 絶縁膜
- 310 埋込み層
- 311、312 電極
- 313 窓部(光ファイバガイド穴)
- 401 コンタクト層
- 402 誘電体多層膜ミラー
- 601 多波長VCSELアレー
- 602、606 光ファイバ
- 603 合波器
- 604 波長可変光フィルタ
- 605 光検出器

【図1】

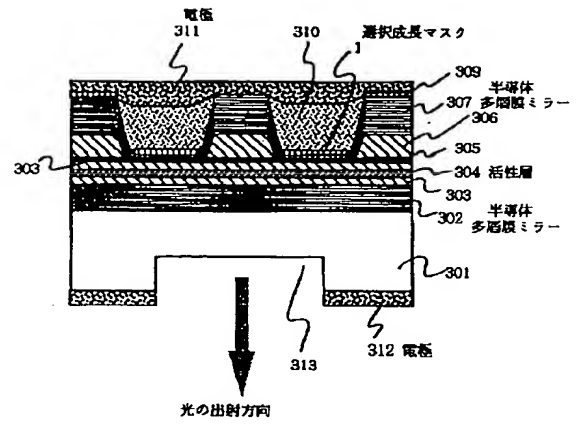




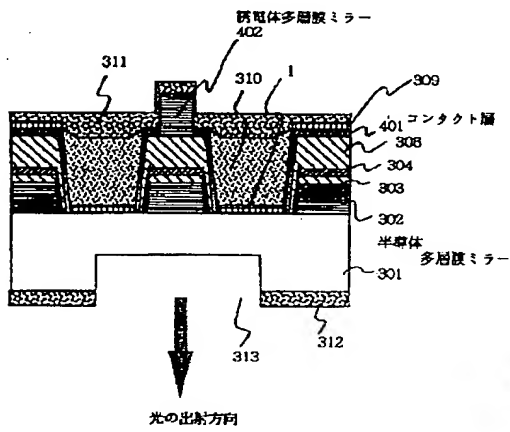
【図2】



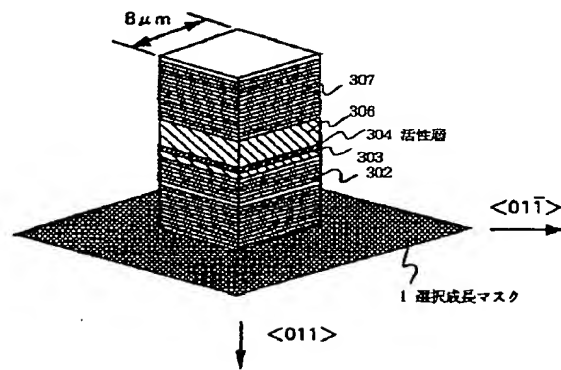
【図3】



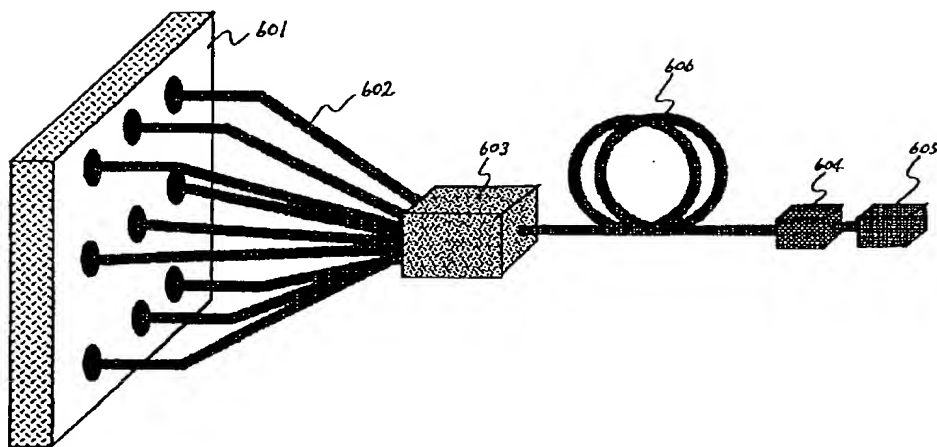
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

